

## برآورد رابطه تبدیلی شدت - شتاب برای محدوده ایران

محمد پور محمد شاهوار<sup>۱</sup>، مهدی زارع<sup>۲</sup>، علی منصوری<sup>۳</sup>

استادیار مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، [m.shahvar@bhrc.ac.ir](mailto:m.shahvar@bhrc.ac.ir)

آستاد پژوهشگاه زلزله شناسی و مهندسی زلزله،

دانشجوی دانشگاه علم و فرهنگ

### چکیده

استفاده از مقیاس شدت از زمان‌های گذشته به دلیل عدم وجود دستگاه‌های ثبت زمین‌لرزه، اقدام مرسوم بوده است. بدلیل اینکه بدون نیاز به دستگاه خاصی، توسط افراد قابل اندازه‌گیری باشد، همچنان کاربرد دارد. البته دلایل دیگری نیز می‌توان جهت ضرورت استفاده از مقیاس شدت در دنیای امروزی می‌توان نام برد. از جمله برآورد بزرگای زمین‌لرزه‌های تاریخی، مطالعات مربوط به تخمین جنبش زمین شدت و ارزیابی آسیب‌پذیری، تحلیل خطر لرزه‌ای و تولید نقشه‌های لرزش که این قابلیت را دارد که در چند دقیقه بعد از زمین‌لرزه، سطح شدت زمین‌لرزه برآورد و ارائه نماید. داده‌های انتخابی شامل ۷۸۲ رکورد ثبت شده در ۳۹ زمین‌لرزه در محدوده زمانی بین ۱۳۵۶ الی ۱۳۹۱ (۱۹۷۷ تا ۲۰۱۲ میلادی)، با محدوده بزرگای گشتاوری بین ۵ تا ۷/۳ و محدوده شدت کمتر مساوی ۹ می‌باشند. در این مطالعه با استفاده از برازش بر روی داده‌های گردآوری شده برای شدت مشاهداتی در مقیاس مرکالی اصلاح شده و داده‌های حداکثر شتاب زمین و حداکثر سرعت زمین، روابط تبدیلی شدت - شتاب برآورد و ارائه شده‌اند.

**واژه‌های کلیدی:** شدت مرکالی، جنبش زمین، زمین لرزه، رابطه تبدیلی، شتاب، سرعت

## PGA-MMI conversion relation for Iran

Mohammad Shahvar<sup>1</sup>, Mehdi Zare, Ali Mansouri

<sup>1</sup>-Road, Building and Housing research center

Using of the macroseismic intensity scale has been a routine action due to the lack of earthquake recording devices from the past. It was also relevant because it could be measured by people without using a specific device. Of course, other reasons can be mentioned for the necessity of using the macroseismic intensity scale including estimation of the magnitude of historical earthquakes, studies on the strong motion estimation, vulnerability assessment, seismic hazard analysis, and the production of ShakeMaps, which is accomplished of estimating the earthquake intensity in a few minutes after the earthquake.

Data set includes 782 item recorded in 39 earthquakes in the time period from 1977 to 2012, with a range of magnitude among 5 to 7.3 (Mw) with  $MMI \geq 9$ .

In this study, by fitting the data for the intensity of observation on the Modified Mercalli scale and PGA, PGV, The relation of MMI and acceleration were estimated and represented.

**Keywords:** Macroseismic intensity, strong motion, earthquake, conversion, acceleration, velocity,

### ۱ مقدمه

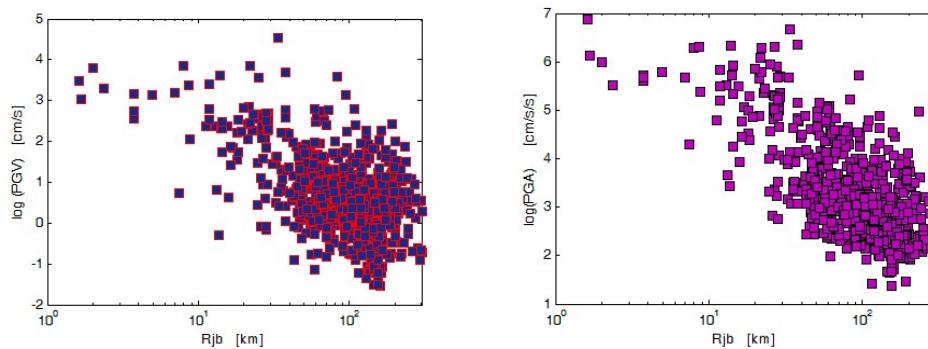
استفاده از مقیاس شدت از زمان‌های گذشته به دلیل عدم وجود دستگاه‌های ثبت زمین‌لرزه، اقدام مرسوم بوده است. همچنین بدلیل اینکه بدون نیاز به دستگاه خاصی، توسط افراد قابل اندازه‌گیری باشد، همچنان کاربرد دارد. البته دلایل دیگری نیز می‌توان جهت ضرورت استفاده از مقیاس شدت در دنیای امروزی می‌توان نام برد. از جمله برآورد بزرگای زمین‌لرزه‌های تاریخی، مطالعات مربوط به تخمین جنبش زمین شدت و ارزیابی آسیب‌پذیری، تحلیل خطر لرزه‌ای و تولید نقشه‌های لرزش که این قابلیت را دارد که در چند دقیقه بعد از زمین‌لرزه، سطح شدت زمین‌لرزه برآورد نماید.

داده‌های انتخابی شامل ۷۸۲ رکورد ثبت شده در ۳۹ زمین‌لرزه در محدوده زمانی بین ۱۳۵۶ الی ۱۳۹۱ (۱۹۷۷ تا ۲۰۱۲ میلادی)، با محدوده بزرگای  $5 \leq M_w \leq 7.3$  و محدوده شدت  $MMI \leq 9$  می‌باشند. در این مطالعه با استفاده از برازش بر روی داده‌های گردآوری شده برای شدت مشاهداتی در مقیاس مرکالی اصلاح شده و داده‌های PGA، PGV، روابط تبدیلی شدت-شتاب برآورد و ارائه شده‌اند.

## ۲ جمع آوری داده‌ها

شدت را می‌توان بر اساس درجه‌بندی میزان لرزش زمین و بر اساس مشاهدات افراد و خسارتهای ساختمان برآورد کرد. بنابراین شدت بر مبنای یک فرمول ریاضی بدست نمی‌آید، لذا باید به این نکته دقت شود که در برآورد رابطه شتاب-شدت، شدت بصورت گسسته و شتاب بصورت پیوسته بدست می‌آیند و با هم ترکیب می‌شوند. آبدایان (۱۹۵۴) برای اولین بار در ایران برای زمین‌لرزه طرود (۱۹۵۳)، نقشه‌های هم‌شدت را برآورد و ارائه کرد. در سالهای بعد این امر، توسط افراد دیگری نیز برای زمین‌لرزه‌های ایران به انجام رسید، که از جمله می‌توان به مطالعات صورت گرفته توسط بربریان (۱۹۷۷)، کوئیتیمیر و جاکوب (۱۹۷۹)، چاندرا و همکاران (۱۹۷۹)، امبرسیز و ملویل (۱۹۷۰)، زارع و معماریان (۲۰۰۳) و بربریان (۲۰۰۵) اشاره نمود.

در این مطالعه، جهت گردآوری داده‌های شدت، از مطالعات فوق‌الذکر استفاده شده است. همچنین گزارشات مربوط به زمین‌لرزه‌های مختلف از جمله گزارشات سازمان تحقیقات مسکن، گزارشات بازدید محلی سازمان زمین‌شناسی ایران، گزارشات بازدید محلی پژوهشگاه زلزله از زمین‌لرزه‌های مختلف گردآوری و در صورت نیاز با همدیگر مقایسه گردیده‌اند. همچنین گزارشات زمین‌لرزه‌های مهم سال‌های دهه ۵۰ تا ۸۰ شمسی از آرشیو روزنامه‌های مختلف مانند اطلاعات، همشهری و کیهان گردآوری و برای زمین‌لرزه‌های ۱۰ سال اخیر، از خبرگزاری‌های مهم همچون خبرگزاری مهر، ایسنا و ایرنا گردآوری شدند. در نهایت شدت‌های مختلف ارائه شده با یکدیگر مقایسه و در نهایت با در نظر گرفتن شواهد موجود بهترین تخمین شدت انتخاب و برای نقاط مورد نظر برآورد شدند.



شکل ۲: توزیع پارامترهای جنبش زمین در مقایسه با توزیع لگاریتمی آنها.

## ۳- برآورد روابط تبدیلی

با فرض مدل خطی بین داده‌های شدت (MMI) و لگاریتم مبنای ۱۰ برای پارامترهای ثبت شده در زمین‌لرزه (PGM) بصورت معادله (۱) و (۲)، ضرائب این معادلات بر مبنای تئوری شرح داده شده در بخش پیشین، برای شتاب و سرعت محاسبه شده و در جدول (۱) لیست شده است.

$$MMI = a + b \log(PGM) \quad (1)$$

$$\log(PGM) = (MMI - a) / b \quad (2)$$

مقادیر پارامترهای مدل (شامل شیب، عرض از مبدا، انحراف معیار پارامترهای جنبش زمین و شدت بر اساس معادلات ارائه شده در فصل دوم و بخش پیشین این مطالعه بدست آمده‌اند. در شکل (۲) مدل برازش شده به همراه داده های استفاده شده برای پارامترهای مختلف جنبش زمین شامل حداکثر شتاب زمین، حداکثر سرعت زمین و مقادیر شتاب طیفی ۰/۳ ثانیه، ۱ ثانیه و ۳ ثانیه نشان داده شده است. مقادیر انحراف معیار نیز بیانگر میزان پراکندگی در مقادیر باقیمانده می‌باشند. در صورتیکه این مقادیر کمتر از مقدار بدست آمده برای انحراف معیار ناشی از داده‌های ساختگی (جهت تست روابط) باشد، بطور محافظه‌کارانه، مقدار خطای بیشتر به عنوان انحراف معیار انتخاب شده است.

جدول ۱: پارامترهای بدست آمده از برازش شدت- شتاب

PGM	a	$\sigma_a$	b	$\sigma_b$	$\sigma_{PGM}$	$\sigma_{MMI}$
PGA	-0.399	0.0430	3.322	0.0263	0.308	0.707
PGV	3.596	0.0156	2.935	0.0259	0.307	0.681

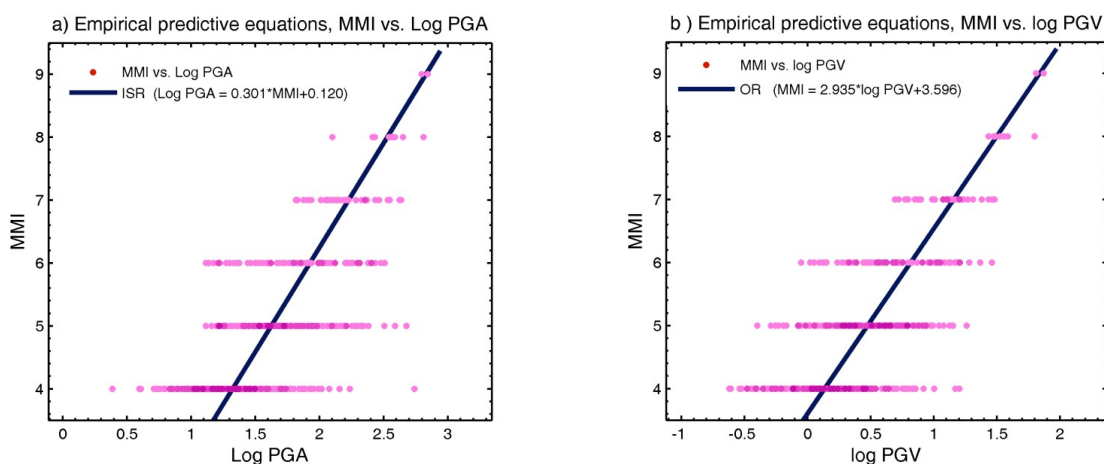
در ابتدا به بررسی مقادیر باقی‌مانده ناشی از مقدار تخمینی و واقعی، پرداخته می‌شود. در این مطالعه، مقادیر باقی‌مانده عبارت است از اختلاف بین پارامترهای ثبت شده و پارامترهای تخمینی توسط هر یک از روابط ارائه شده. با توجه به تعریف فوق مقادیر باقی‌مانده برای هر یک از روابط انتخابی را می‌توان از رابطه زیر محاسبه نمود.

$$R = \text{abs}(\log(y_{\text{abs}}) - \log(y_{\text{pre}})) \quad (۳)$$

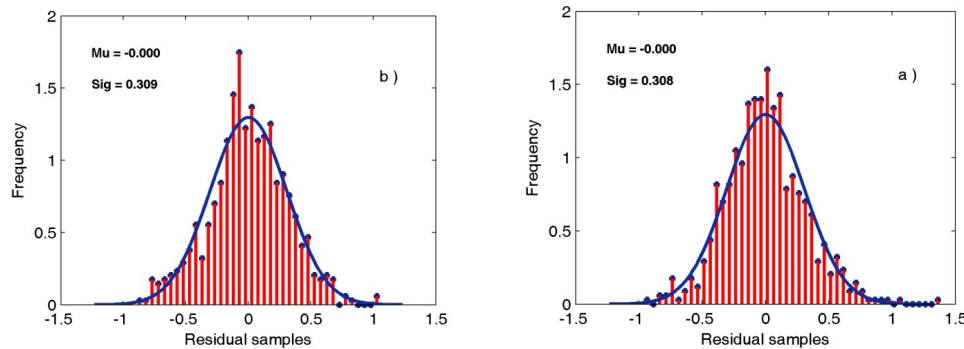
که در رابطه فوق  $y_{\text{abs}}$  پارامتر ثبت شده،  $y_{\text{pre}}$  پارامتر تخمین زده شده توسط رابطه تبدیلی و R مقدار باقی‌مانده می‌باشد.

#### ۴-آزمایش مدل‌های برآورد شده

در واقع زمانی که یک رابطه تبدیلی هم‌خوانی خوبی با مقادیر مشاهده شده داشته باشد، مقادیر باقی‌مانده بایستی به صورت تصادفی حول محور صفر توزیع شده باشند. فرض بر آن است که پارامترهای حرکت زمین می‌بایست توزیع نرمال لگاریتمی داشته باشند، از این‌رو با توجه به معادله (۳) مقادیر باقی‌مانده می‌بایست توزیع نرمال داشته باشند.



شکل (۲): مدل برازش شده به داده‌های شدت- شتاب (a) مدل شدت حداکثر شتاب زمین (b) مدل شدت- شتاب (c) مدل شدت - شتاب طیفی برای ۰/۳ ثانیه (d) مدل شدت- شتاب طیفی برای ۱ ثانیه (e) مدل شدت- شتاب طیفی برای ۳ ثانیه



شکل (۳): هیستوگرام‌های مربوط به مقادیر باقی‌مانده هر یک از مدل‌های تبدیلی. منحنی ضخیم تیره در این شکل بیانگر تابع چگالی احتمالاتی مربوط به توزیع نرمال استاندارد می‌باشد. مقادیر میانگین و انحراف معیار نیز بر روی شکل مشخص شده‌اند.

آخرین روش گرافیکی بکار گرفته شده، ترسیم هیستوگرام‌های مربوط به مقادیر باقی‌مانده می‌باشد. هدف از ترسیم این نمودارها جمع‌بندی ویژگی‌های اصلی توزیع مقادیر باقی‌مانده هر یک از مدل‌های انتخابی می‌باشد. یک هیستوگرام به صورت گرافیکی نشان‌دهنده مقادیر میانه، میانگین، انحراف از معیار بوده و می‌تواند نحوه توزیع داده‌ها و نیز پدیده چولگی در توزیع آنها را نشان دهد.

توزیع نرمال مورد انتظار و توزیع باقی‌مانده‌ها برای هر پنج مدل در شکل (۴) نشان داده شده است، که سازگاری مناسبی با توزیع مورد انتظار نشان می‌دهد و تقریباً مقدار میانگین نیز برابر با صفر می‌باشد که تأیید کننده آن است.

## ۵- نتیجه‌گیری

در این مطالعه، با استفاده از برازش بین داده‌های ثبت شده دستگاهی و شدت مشاهده‌ای، روابط شدت-شتاب و شدت-سرعت ارائه شد. جهت برآورد شدت، از داده‌های مختلفی استفاده گردید. عمده این داده‌ها با استفاده از گزارش‌های بازدید محلی پس از زمین‌لرزه‌ها که توسط مراکز گوناگون از جمله سازمان زمین‌شناسی ایران، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی و پژوهشگاه زلزله و تهیه گردیده است.

با استفاده از این روابط که سازگار با داده‌های ایران هستند، می‌توان تخمین مناسب‌تری را در هنگام تولید نقشه‌های لرزش ارائه نمود. از آنجا که برآورد این روابط از الگوریتم متعامد، OR، استفاده شده است، می‌توان هم از روی شدت مشاهده‌ای به شتاب یا سرعت موردنظر برای یک مختصات خاص دست یافت و هم بطور معکوس، از روی شدت یا شتاب ثبت شده می‌توان شدت مورد انتظار را حدس زد.

## منابع

- Berberian M (2005) The 2003 Bam urban earthquake: A predictable seismotectonic pattern along the western margin of the rigid Lut block, southeast Iran. *Earthq Spectra* 2 (S1):S35-S99
- Berberian M (1979) Maximum Intensity, Isoseismal And Intensity Zone Maps Of Iran (4th Century BC To 1979). *Geol survey of Iran Report* 40:101-119
- BHRC, Road, Building and Hosing research center, [www.bhrc.ac.ir](http://www.bhrc.ac.ir)
- Chandra U., 1984. Focal mechanism solutions for earthquakes in Iran. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 34, 9-16.
- Quittmeyer R. and K. Jacob, 1979. Historical and modern seismicity of Pakistan, Afghanistan, northwest India and southeastern Iran, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 69, 777.
- Zare, M. and Memarian, H. (2003). "Macro seismic Intensity and Attenuation Laws: A Study on the Intensities of the Iranian Earthquakes of 1975- 2000", 4th International Conf. on Seismology and Earthquake Engineering, IIEES, I.R. Iran.